



www.cnrs.fr

cherche  
**midi**

COMMUNIQUÉ DE PRESSE NATIONAL | PARIS | 23 JANVIER 2017

## Écologie de la santé : pour une nouvelle lecture de nos maux

L'ouvrage "Écologie de la santé : pour une nouvelle lecture de nos maux", rédigé par des chercheurs issus des laboratoires du CNRS ou associés, paraît le 2 février 2017 en librairie. Publié par le cherche midi, en partenariat avec le CNRS, ce livre grand public révèle une nouvelle voie, évolutive et écologique, pour aborder les problèmes de santé. Une approche essentielle face aux risques d'émergence ou ré-émergence de maladies infectieuses.

L'actualité nous le rappelle sans cesse : les maladies comme le paludisme, le Sida, ébola ou zika sont difficiles à combattre, et les maladies chroniques de type cancer, diabète ou maladies cardiovasculaires toujours plus meurtrières. Pour la première fois de son histoire, l'humanité voit même son espérance de vie diminuer. Pour comprendre les raisons de cette crise sanitaire, l'écologie scientifique pose un autre regard sur la santé qui prend en considération les transformations de l'environnement et l'évolution de nos modes de vie.

Cette nouvelle approche évolutive et écologique des problèmes de santé tente d'élucider les mécanismes en jeu dans la transmission et l'émergence de nouveaux pathogènes, mais aussi dans la résistance toujours croissante aux antibiotiques. Elle permet de mesurer l'effet des facteurs environnementaux sur la santé : concentration urbaine et industrielle et nouveaux comportements induits en matière d'alimentation et d'activités physiques.

Cet ouvrage rédigé par des spécialistes issus des laboratoires du CNRS ou associés fait le point sur les recherches en écologie de la santé. Il permet à chacun de comprendre pourquoi il est essentiel de remonter aux sources environnementales et comportementales de nos maux, et de ne pas se limiter aux symptômes.



### Écologie de la santé : pour une nouvelle lecture de nos maux

En librairie à partir du 2 février 2017

*le cherche midi, en partenariat avec le CNRS*

Un ouvrage collectif illustré sous la direction de Stéphane Blanc, Gilles Boëtsch, Martine Hossaert-McKey, François Renaud.

192 pages – 24,90 €



www.cnrs.fr

cherche  
**midi**

Dans la même collection :

*Biodiversités* (2010), *Mondes polaires* (2012), *Écologie chimique* (2012), *Mondes marins* (2014), *Écologie tropicale* (2015) et *Empreinte du vivant* (2015).



## Contacts

Presse CNRS | Priscilla Dachet | T 01 44 96 46 06 | [priscilla.dacher@cnrs-dir.fr](mailto:priscilla.dacher@cnrs-dir.fr)

Presse le cherche midi | Emmanuel Amar | T 06 18 06 42 71 | [amar.emmanuel@sfr.fr](mailto:amar.emmanuel@sfr.fr)

DANS LA MÊME COLLECTION :

*Biodiversité(S), nouveaux regards sur le vivant*, 2010.

*Mondes polaires, hommes et biodiversités, des défis pour la science*, 2012.

*Écologie chimique, le langage de la nature*, 2012.

*Mondes marins, voyage insolite au cœur des océans*, 2014.

*Écologie tropicale, de l'ombre à la lumière*, 2015.

*Empreinte du vivant, l'ADN de l'environnement*, 2015.

## SOMMAIRE

Préface	8
1. Écologie de la santé, retour aux sources	10
2. Les microbes, compagnons de longue route	20
3. Les passeurs de microbes	38
4. Des maladies dans l'air du temps	56
5. Des maladies qui collent à la peau	72
6. Quand la résistance s'organise face aux antibiotiques	88
7. La santé commence in utero	104
8. Les maladies du progrès	118
9. Quand on arrive en ville	128
10. Le poids de l'alimentation	142
11. Mortelle sédentarité	156
12. Darwin et la médecine	170
Glossaire	182
Liste des auteurs	186
Pour en savoir plus	188
Remerciements et crédits photographiques	190

La lente émergence de la lignée humaine, au cours des millénaires, a été possible grâce à une interrelation étroite avec l'environnement. Plus près de nous, *Homo sapiens* a éliminé, au cours de son évolution, ses principaux prédateurs et/ou compétiteurs. S'il s'adapte en même temps qu'il évolue, et modifie sans cesse son milieu, un monde aujourd'hui lui reste encore largement inconnu, celui des microbes. La biodiversité microbienne occupe pourtant une position essentielle dans le fonctionnement des écosystèmes.

En ce début de 21<sup>e</sup> siècle, l'amélioration des conditions de vie, l'accès aux soins, une alimentation équilibrée et diversifiée, les progrès de la médecine ont contribué au cours des dernières décennies à faire vivre plus vieux et en meilleure santé l'espèce humaine. Cependant, les journaux, à partir de données épidémiologiques récentes, nous apprennent, avec une sidération certaine, que l'espérance de vie dans les pays les plus développés, comme les États-Unis, régresse ! Pourquoi ? Comment ? Quelle est l'origine de ce qui peut être envisagé comme un retour en arrière ?

Depuis les débuts de la révolution industrielle, l'artificialisation du vivant et de la sphère qu'il occupe sur la Terre est une des caractéristiques majeures. Il en découle nombre de blessures environnementales, sociales et économiques qui rendent nécessaire la compréhension des processus liés à l'évolution de la nature occupée par les humains à un moment d'explosion démographique et de changements planétaires. L'environnement est à la fois un terrain privilégié d'expression de comportements sociaux et culturels et un milieu de vie, c'est-à-dire un champ continu d'interactions entre les systèmes biologiques-physiques et les systèmes sociaux et leurs conséquences sur la santé ne peuvent plus être ignorées.

Les changements environnementaux rapides qui se succèdent depuis près de 70 ans sont la conséquence du développement industriel, de l'expansion démographique humaine, des changements d'usage des milieux continentaux et marins, de l'industrialisation et des modifications climatiques. Tous entraînent des variations du mode de vie de tous les organismes, hôtes ou pathogènes, ainsi que leur circulation. C'est le cas, de l'urbanisation, de l'alimentation, des pollutions anthropiques et de l'utilisation de plus en plus importante de molécules médicamenteuses ou chimiques (antibiotiques, pesticides...) libérées dans l'environnement. Leurs conséquences sur le développement des maladies chroniques non transmissibles (obésité, maladie cardio-vasculaire...), comme sur l'évolution des cortèges de pathogènes, sont loin d'être négligeables.

Dans ce contexte, l'interaction des facteurs environnementaux avec les déterminants de la santé, qu'ils soient comportementaux, sociaux, ou génétiques, constitue une approche, nouvelle et performante, encore trop sous-utilisée, pour comprendre les causes de ces maladies.

Ce livre constitue une nouvelle voie pour aborder les problèmes de santé. Il nous révèle un autre paysage, celui de l'environnement et le lien, extrêmement fort, qui existe entre la connaissance et la gestion d'un environnement en bonne santé avec des sociétés humaines (mais aussi animales ou végétales) en bonne santé. Cette approche oblige à ouvrir largement le champ de chaque discipline à d'autres disciplines. Elle invente des concepts et des modes de travail inter-disciplinaires (écologie, épidémiologie, écophysiologie, géographie, infectiologie, génétique moléculaire, médecine clinique, etc.), voire trans-disciplinaires lorsque la recherche se traduit par de nouvelles stratégies déployées en santé publique par les politiques. Ainsi, il révèle pourquoi, face aux problèmes de l'émergence ou de la ré-émergence de micro-organismes pathogènes, il est nécessaire de renforcer les connaissances de l'impact des modifications de l'environnement, quels que soient les milieux. Les origines des agents pathogènes, leurs niches écologiques (réservoirs et vecteurs), les conditions de leur développement, leur dynamique et leur distribution spatio-temporelle, les déterminants de la virulence à l'échelle micro-évolutive et génomique, autant de thématiques qui sont de véritables défis pour nos sociétés que cet ouvrage aborde.

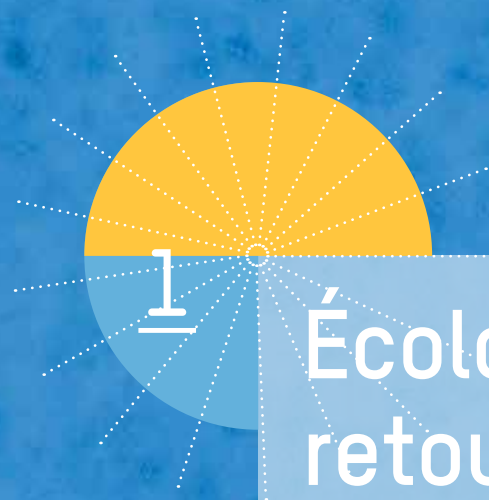
Le livre aborde également les questions des maladies chroniques non transmissibles. Les sociétés modernes ont construit leur propres « niches écologiques ». La diminution de l'activité physique et la généralisation d'un mode de vie sédentaire associées à des apports alimentaires inadaptés y sont devenus l'usage. Alors que la durée de vie et le confort se sont considérablement améliorés, cela crée un décalage entre l'histoire évolutive de l'homme et son environnement. Les changements dans les modes de vie, les comportements de santé et les contraintes environnementales que ce soit au niveau individuel, interpersonnel, populationnel ou social, sont autant de facteurs de risque.

La diversité biologique de notre planète est une richesse, les pathogènes font partie de ce patrimoine, et c'est à tout un chacun qu'il revient de comprendre leurs modalités écologiques et évolutives d'interaction avec leurs hôtes pour en tirer profit. Nous ne sommes plus dans l'ère de l'élimination du processus infectieux, mais dans celle de son contrôle.

Ce livre doit permettre à nos mentalités d'évoluer, et c'est en association et concertation entre biologistes de l'évolution, chimistes, écologistes, médecins (pour ne citer qu'eux) que nous pourrons aller de l'avant. Nous sommes à l'heure de la gestion commune et planétaire du risque et de l'attaque infectieuse, qu'elle concerne l'espèce humaine, les animaux ou les plantes. L'avenir d'*Homo sapiens* y est lié, et ce dernier ne doit surtout pas oublier que le monde animal et végétal est au même titre concerné, et que sans un équilibre construit, la chute est inévitable !

Stéphanie Thiébault

Directrice de l'Institut écologie et environnement du CNRS



## Écologie de la santé, retour aux sources

Le monde connaît un bouleversement environnemental sans précédent. Un bouleversement qui l'expose à une crise écologique et sanitaire majeure, marquée par la recrudescence de maladies infectieuses ou vectorielles, comme ébola ou zika, et la multiplication de maladies chroniques telles que le diabète ou l'obésité.

Pour la première fois de son histoire, l'humanité voit ainsi son espérance de vie décroître. Pour optimiser la lutte contre ces maladies, il devient fondamental de réintégrer l'environnement dans nos analyses. C'est ainsi que l'écologie de la santé, qui étudie le rôle des facteurs environnementaux ou écologiques dans l'origine et la transmission de certaines pathologies, est une discipline en plein essor.

Virus ébola vu en microscopie électronique à transmission.



Nous sommes tous issus du même berceau africain et avons longtemps séjourné dans ces contrées avant d'entamer de grandes migrations qui nous ont conduit à peupler la quasi-totalité de la planète. La sédentarisation de l'homme au Néolithique, il y a dix millénaires environ, marquée par le développement de l'élevage et de l'agriculture, constitue alors la première transition épidémiologique. Puis le développement technologique, qui va conduire l'homme à une phase d'industrialisation et d'urbanisation, représente la deuxième grande transition épidémiologique. Enfin, aujourd'hui, alors que le monde fait face à des perturbations écologiques sans précédent qui se traduisent par une extinction massive de la biodiversité et l'émergence ou la réémergence de pathogènes, nous connaissons ainsi la troisième grande transition épidémiologique.

“ **Plus de 80 %  
des maladies  
infectieuses  
humaines ont une  
origine animale.** ”

Peintures rupestres du Tassili n'Ajjer (site néolithique de Tin Tazarift). Troupeaux représentatifs de l'époque des premiers pasteurs.



Cultures intensives sur les berges de l'Euphrate.



## La grande « révolution infectieuse » du Néolithique

Nous pouvons ainsi envisager l'origine des maladies infectieuses à la lumière de ces transitions, sources des crises sanitaires infectieuses de l'humanité. Si nos ancêtres chasseurs-cueilleurs ont probablement été concernés pendant plusieurs millions d'années par des maladies infectieuses partagées avec nos cousins primates, la grande « révolution infectieuse » s'est produite au Néolithique (il y a 10 000 ans environ) lors de la sédentarisation de certaines populations humaines. Celle-ci a eu pour double conséquence au cours du processus d'augmenter la densité des individus présents sur une aire géographique donnée et de favoriser les contacts avec les animaux domestiques. Plus de 80 % des maladies infectieuses humaines ont ainsi une origine animale (appelées « zoonoses »). L'augmentation démographique, associée à la promiscuité de la faune domestiquée, génère en effet les paramètres essentiels à l'émergence d'une maladie infectieuse : contact, transfert et transmission. Voilà la clé de toute émergence infectieuse !

Parmi les 25 principales maladies infectieuses qui ont été ou sont les plus « impactantes » sur la santé humaine, 10 (comme le Sida, le choléra, la dengue, le paludisme, la fièvre jaune, etc.) sont dites « tropicales » et 15 (comme la peste, la grippe, la rougeole, la syphilis, la tuberculose, etc.) sont dites « tempérées ». Mis à part le Sida, la dengue et le choléra, qui ont émergé récemment, la quasi-totalité des autres maladies infectieuses est apparue chez l'homme il y a plus de deux siècles.

Nous observons également que la proportion des maladies infectieuses issue de l'Ancien Monde est bien supérieure à celle issue du Nouveau Monde. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la domestication animale (oiseaux et mammifères) a es-

sentiellement eu lieu dans l'Ancien Monde, et que, par conséquent, les transferts de pathogènes entre faune domestiquée et humains y ont été bien plus fréquents.



Épidémie de peste en Mandchourie en 1911.



Chanson populaire contre la tuberculose (1919).  
« Va-t'en, va-t'en microbe », paroles de M. Émile Deniau.



*Mycobacterium tuberculosis*, agent de la tuberculose, en microscopie électronique à balayage.

## TUBERCULOSE : UN MODÈLE D'ADAPTATION À L'HOMME

L'agent de la tuberculose cohabite avec l'homme depuis plus de 70 000 ans. Et il semble, au fil du temps, de plus en plus virulent.

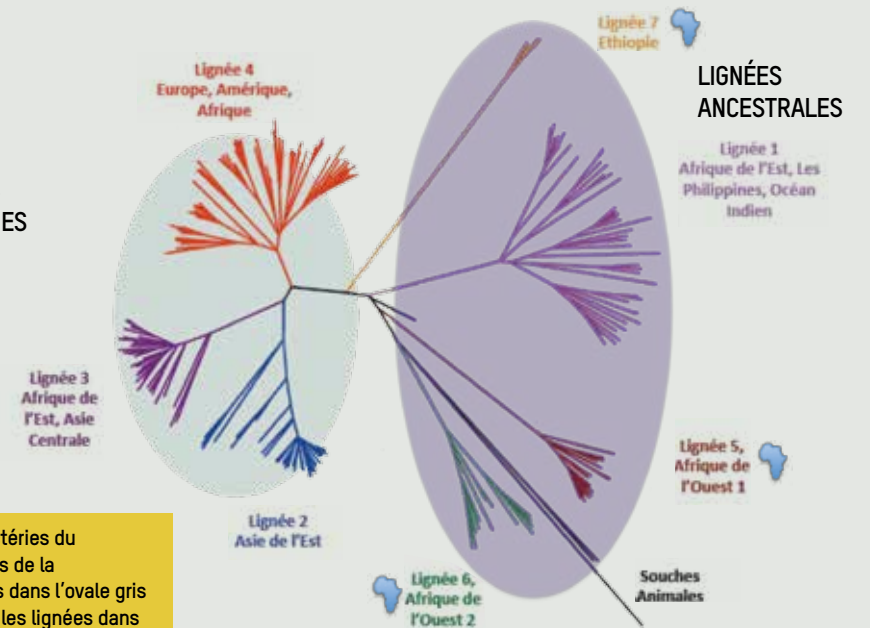
La tuberculose est provoquée principalement par l'espèce *Mycobacterium tuberculosis*, connue aussi sous le nom de « bacille de Koch ». Sa longue coévolution avec l'homme fait de cette bactérie un modèle d'adaptation mais également une des maladies infectieuses humaines les plus dévastatrices avec le Sida et le paludisme.

La tuberculose, sporadique jusque dans les années 1700, devient épidémique avec la révolution industrielle, qui entraîne une augmentation de la densité humaine, notamment dans les villes. Son incidence diminue ensuite rapidement avec l'amélioration des conditions sanitaires, la vaccination par le BCG (1921) et les antituberculeux. Cependant, depuis les années 1980, on assiste à une réaugmentation du nombre de cas. Elle représente aujourd'hui un problème de santé publique majeur à l'échelle mondiale, avec un tiers de la population infecté de manière latente (sans

symptôme) et plus de 90 % des cas reportés dans les pays en développement. La dégradation des conditions d'hygiène chez une part importante de la population, l'épidémie de Sida, le mouvement des populations et la résistance aux antibiotiques sont les facteurs majeurs qui favorisent sa transmission.

La bactérie responsable de la tuberculose appartient à un groupe de bactéries, le complexe *M. tuberculosis*, constitué de différentes espèces pathogènes pour l'homme (*M. canettii*, *M. tuberculosis* et *M. africanum*) et l'animal (*M. bovis*, *M. caprae*, *M. microti* et *M. pinnipedi*, etc.). Bien que ces espèces partagent plus de 99 % de similarité génétique, leurs caractéristiques biologiques et épidémiologiques suggèrent des chemins évolutifs différents. Les espèces pathogènes pour les animaux forment une lignée individualisée qui semble émerger de *M. africanum*, une espèce pathogène pour les humains. Sur la base de ces travaux, le bacille de Koch

LIGNÉES MODERNES



Représentation de la diversité des bactéries du complexe *M. tuberculosis* responsables de la tuberculose chez l'homme. Les lignées dans l'ovale gris sont les lignées dites « modernes » et les lignées dans l'ovale violet sont les lignées dites « ancestrales ».

serait donc à l'origine un pathogène humain et non animal. L'étude de l'ancienneté des lignées a révélé un groupe ancestral et un groupe moderne au sein du complexe *M. tuberculosis*. Il est à noter qu'aujourd'hui la majorité des souches isolées appartient aux lignées « modernes ». Ces lignées apparaissent très épidémiogènes et responsables d'une progression de la maladie plus rapide. Les études *in vivo* révèlent également des propriétés de virulence particulières chez les souches modernes. *M. tuberculosis* semble avoir évolué vers un potentiel de transmission et de virulence accru.

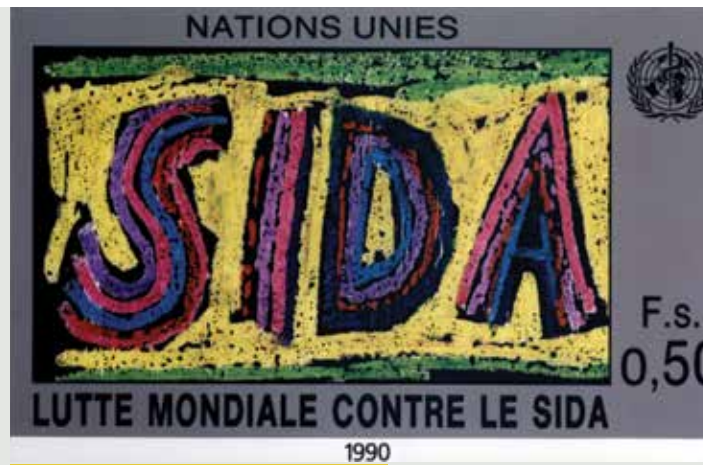
Le complexe *M. tuberculosis*, originaire d'Afrique de l'Est, infecterait l'homme depuis plus de 70 000 ans et aurait été transféré vers l'animal au Néolithique, il y a environ 10 000 ans. À l'image de l'homme moderne, c'est sur le continent africain que le complexe *M. tuberculosis* présente la plus grande diversité. Les migrations humaines et l'augmentation des populations pendant la période néolithique seraient à l'origine de son expansion. Certaines lignées anciennes sont restées

en Afrique alors que les autres lignées se sont propagées hors d'Afrique. Les lignées modernes ont ensuite envahi l'Europe, l'Inde et la Chine à la suite de l'augmentation extraordinaire de la population.

Le complexe *M. tuberculosis* a sans aucun doute une longue histoire de coévolution avec l'homme. La tuberculose révèle aujourd'hui toutes les caractéristiques des maladies liées à de forte densité de population, puisque sa transmission se fait par voie aérienne. Elle possède également les caractéristiques des maladies à faible densité de population, puisqu'elle présente une longue phase de latence (un tiers de la population est infecté de manière asymptomatique). Cette dualité est révélatrice de son adaptation à l'histoire démographique humaine, les lignées s'étant adaptées spécifiquement aux différentes populations humaines.

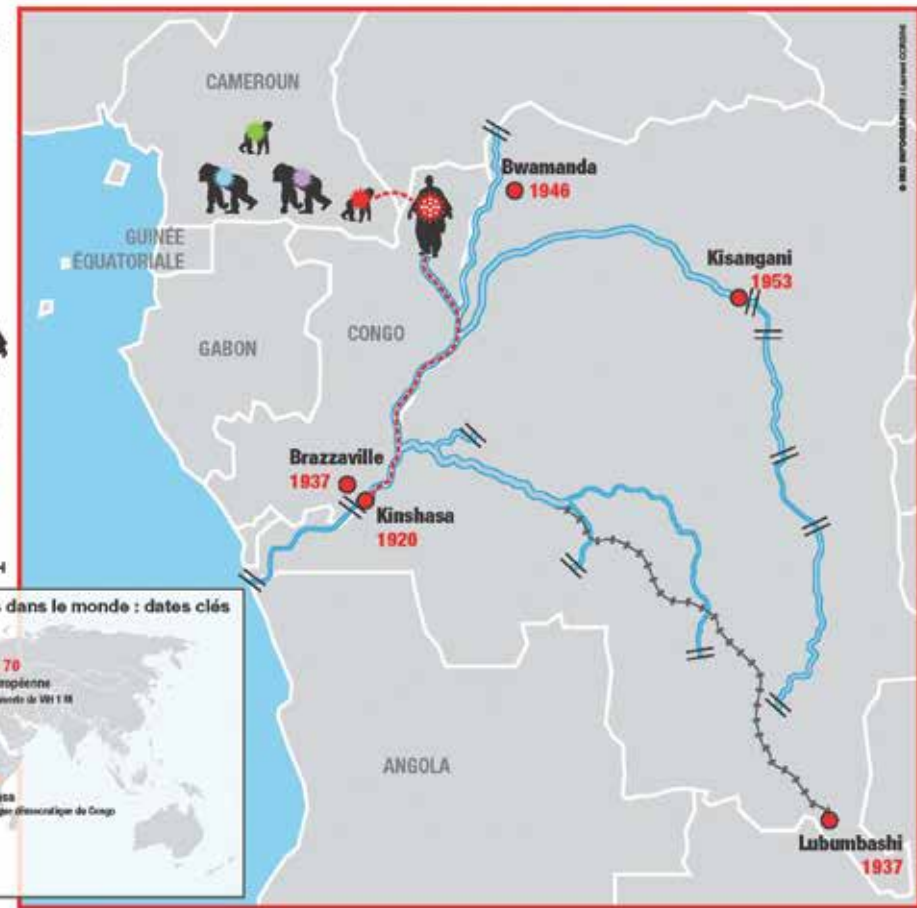
Il semble évident que le complexe *M. tuberculosis* humain a imposé et impose toujours une forte pression de sélection sur les populations humaines. Toutes ces caractéristiques et l'histoire de cette bactérie soulignent le succès évolutif phénoménal de ce micro-organisme.





Timbre-poste des Nations Unies pour la sensibilisation à la lutte contre le Sida.

### Sida : aux origines du VIH



Cartes de la propagation du virus du Sida.

## SUR LA PISTE DU VIH

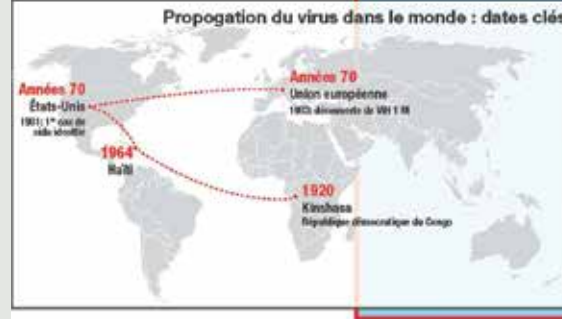
Le virus du Sida sévit depuis les années 1980. Aujourd'hui, l'analyse génétique du virus permet de remonter à la source du VIH et de suivre sa dispersion.

Le Sida (syndrome d'immunodéficience acquise) est une maladie causée par le VIH (virus d'immunodéficience humaine), apparue au début des années 1980 et causant depuis lors une pandémie. Le VIH infecte aujourd'hui de 2 à 3 millions de personnes par an, essentiellement en Afrique subéquatoriale. Le nombre total de personnes infectées depuis le début de la maladie s'élève à 80 millions (dont 25 millions de morts) et la prévalence actuelle est de 35 millions. Il n'existe à ce jour encore aucun vaccin protégeant contre l'infection. Les analyses moléculaires de ces dernières années, et notamment le séquençage du génome des virus, ont permis d'identifier l'origine du virus du Sida et de caractériser sa dispersion mondiale.

Les VIH appartiennent au genre des lentivirus, dont le nom rend compte de la longue période d'incubation qui précède le développement de la maladie. Ce genre comprend 5 sérogroupes

infectant différents groupes de mammifères dont les VIS (virus d'immunodéficience simiens), des virus proches des VIH mais infectant les primates africains non humains. Des analyses phylogénétiques combinées sur les VIS et les VIH montrent que les VIH ne présentent pas tous la même origine, et se divisent en deux types : les VIH-1 et les VIH-2, issus respectivement de VIS de chimpanzés et de singes verts. La consommation fréquente de « viande de brousse » (de primates notamment) en Afrique de l'Ouest rend tout à fait possible des transferts de parasites entre la faune sauvage et l'homme. Le transfert peut également avoir lieu lors de morsures d'animaux vivants ou du dépeçage d'animaux morts.

L'analyse détaillée de ces phylogénies a mis en évidence pas moins de six événements indépendants de transfert de VIS à l'homme. Enfin, ces analyses ont permis de dater ces événements de transfert au début du XX<sup>e</sup> siècle, en accord avec le plus vieux cas connu



d'infection humaine par VIH, datant de 1959 (soit plus de 20 ans avant le début de la pandémie que l'on connaît aujourd'hui). Ces datations anciennes constituent le meilleur argument pour réfuter l'implication du vaccin contre la poliomyélite dans l'épidémie de Sida, hypothèse proposée dans les années 1990 et ayant fait couler beaucoup d'encre sur la sécurité des essais vaccinaux.

Les analyses phylogénétiques plus détaillées des VIH révèlent une diversité génétique extrême. Le VIH-1 est ainsi divisé en trois groupes (par ordre de découverte) : M pour main (mot anglais qui signifie

« principal »), N pour non-M, O pour outlier (mot anglais signifiant « cas particulier »). Les groupes N et O sont confinés à l'Afrique centrale et de l'Ouest tandis que le groupe M, responsable de la dispersion de la maladie, se retrouve partout dans le monde. Le VIH-2 est lui aussi entièrement confiné à l'Afrique centrale et de l'Ouest. Le fait que cette région d'Afrique présente la plus forte diversité mondiale de VIH est un argument en faveur de l'origine africaine de ces virus. Par ailleurs, le fait que seuls les primates africains soient naturellement infectés par les VIS est un argument supplémentaire en faveur d'une origine animale des VIH.





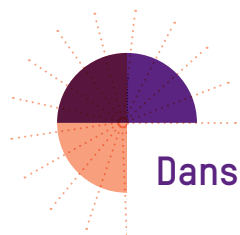
3

## Les passeurs de microbes

Quel est le point commun entre le paludisme, la dengue, le chikungunya, zika ou encore la maladie de Lyme ? Toutes ces pathologies, aujourd'hui considérées comme émergentes ou réémergentes, se transmettent à l'homme par l'intermédiaire d'un vecteur – le plus souvent un arthropode buveur de sang tel que le moustique, la punaise ou la tique. On parle ainsi de maladies à transmission « vectorielle ». Mais ces « passeurs de microbes » ne sont pas de simples véhicules. Ils entretiennent des relations complexes avec les pathogènes qu'ils hébergent, déterminantes pour l'efficacité de la transmission. Comment l'écologie des différents partenaires influence-t-elle la dynamique des systèmes vectoriels ? Quelles sont les pressions environnementales susceptibles de moduler la transmission dans un contexte de changement global ? Quelles perspectives et quels risques pour demain ?

*Gorilla gorilla gorilla* (ou gorille des plaines de l'Ouest), parc naturel de la Lékédi, sud du Gabon.





## Dans le sillage des hommes

C'est dans un environnement favorable à la fois à l'espèce humaine et au vecteur que la transmission du pathogène est la plus efficace, et que le danger devient réel pour l'être humain. Or, depuis qu'il foule la surface de la Terre, l'homme entraîne dans son sillage un cortège de vecteurs. En aménageant l'espace pour sa survie puis son confort, il a en effet créé de nouvelles niches écologiques auxquelles les vecteurs se sont rapidement adaptés, ces derniers y trouvant une source pérenne de nourriture. Ainsi, les nouvelles politiques de gestion des espaces forestiers en Europe ont créé les conditions favorables à la pullulation des tiques, vectrices des bactéries responsables de la maladie de Lyme. Et si la plupart des moustiques « domestiques » sont devenus résistants aux insecticides qu'on utilise pour s'en protéger, le moustique tigre *Aedes albopictus* a quant à lui pu envahir l'ensemble des continents en moins de 30 ans, aidé par l'augmentation, en fréquence et en rapidité, des échanges commerciaux intercontinentaux et du transport international de marchandises qui véhiculent... ses pontes.

Par son propre développement, l'homme favorise ainsi la pullulation et la dispersion des vecteurs partout où il se trouve. Les aires de distribution de ces vecteurs et leur composition génétique évoluent en réponse aux changements imposés par les sociétés humaines. Et les bouleversements écologiques engendrés par l'homme sont d'une ampleur sans précédent. Dans ce contexte, où écologie et évolution des systèmes vectoriels sont intimement liées, les opportunités d'émergence et de transmission de pathogènes à potentiel épidémique sont nombreuses.

L'écotourisme et les balades en forêt favorisent l'exposition à la piqûre d'arthropodes sauvages potentiellement infectés par des virus ou autre agent pathogène potentiellement émergent.



C'est son corps, noir tigré de blanc, qui lui a donné son nom. En zone tropicale, le moustique tigre, *Aedes albopictus*, peut inoculer à lui seul une trentaine de virus.

## QUAND LE MOUSTIQUE TIGRE S'ATTAQUE AU MONDE ENTIER



**Le moustique tigre est redoutable. Il s'adapte à tous les milieux, aussi bien urbains que forestiers, et transmet de nombreux virus.**

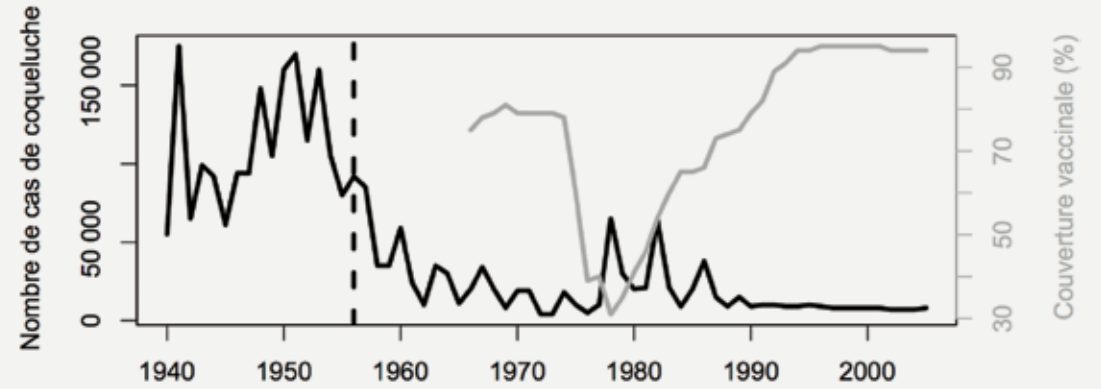
Le moustique tigre (*Aedes albopictus*) est une espèce hautement invasive originaire d'Asie, et désormais présente sur tous les continents, en milieu tropical comme en milieu tempéré. Partout où il s'installe durablement, le moustique tigre génère une nuisance mais surtout un risque sanitaire lié à la transmission des virus. Depuis son premier signalement au Cameroun, au début des années 2000, l'espèce a progressivement gagné la plupart des pays d'Afrique centrale. Ses capacités adaptatives et sa plasticité écologique lui ont rapidement permis de devenir une espèce dominante dans la plupart des milieux urbains nouvellement colonisés, et ce, au détriment d'espèces autochtones de moustiques occupant des niches écologiques similaires. Le phénomène s'est quasi instantanément traduit par l'émergence d'épidémies urbaines de chikungunya, de dengue et de zika, 3 arboviroses jusque-là silencieuses dans cette région du monde. L'espèce a, par ailleurs, progressé dans les villages au cœur de la forêt équatoriale, permettant ainsi la diffusion des virus au-delà du milieu urbain.

Au Gabon, beaucoup de villages sont situés au sein de réserves naturelles où l'homme cohabite avec une faune sauvage abondante et diversifiée (singes, chauves-souris, antilopes, oiseaux), connue pour

héberger de nombreux virus candidats à l'émergence. Des travaux récents ont montré qu'*Ae. albopictus* a progressé dans ces zones forestières préservées en exploitant des sites de ponte naturels comme des creux de rochers. Ce retour à une écologie selvatique originelle n'est pas sans conséquence, car le moustique tigre interagit désormais avec la faune sauvage. Il peut alors s'infecter avec de nouveaux virus, dont le risque de transfert vers l'homme est accru puisque les études indiquent qu'*Ae. albopictus* garde sa propension à piquer l'homme lorsqu'il pénètre dans les forêts nouvellement infestées. Des études de criblage viral, réalisées sur des moustiques collectés sur le terrain à l'aide d'outils de séquençage à haut débit, indiquent d'ores et déjà la circulation de plusieurs arbovirus enzootiques notamment chez le moustique tigre.

Dans ce contexte, il est essentiel d'accentuer les efforts de recherche aux interfaces entre les compartiments forestiers et humains, afin d'évaluer le risque d'émergence de nouveaux virus qui pourraient être rapidement exportés vers d'autres territoires déjà colonisés par le moustique tigre, comme c'est le cas en Europe.

## LA COQUELUCHE ET LA ROUGEOLE : ÉVITABLES MAIS PERSISTANTES



Politique de vaccination contre la coqueluche en Angleterre. La courbe noire représente les incidences annuelles (nombre de nouveaux cas détectés par an), axe de gauche, et la courbe grise représente la couverture vaccinale (proportion de la population totale qui est vaccinée contre la coqueluche), axe de droite. La ligne verticale en tirets marque le début de la politique nationale de vaccination, en 1957. Cette figure illustre deux points importants : 1) décroissance importante du nombre de cas à la suite de l'introduction de la vaccination (1957-1975) et (1986-2005) ; 2) en l'absence d'éradication, réaugmentation rapide du nombre de nouveaux cas dès que la couverture vaccinale diminue (1976-1985).

**La coqueluche et la rougeole menaçaient déjà nos grands-parents lorsqu'ils étaient enfants. Alors pourquoi n'a-t-on toujours pas éradiqué ces graves maladies « infantiles » ?**

La rougeole et la coqueluche ont longtemps été catégorisées comme des maladies « infantiles », puisque, avant les vaccinations de masse, la grande majorité des enfants contractait ces deux maladies avant l'âge de 5 ans. Ces maladies sont souvent caractérisées par une contagiosité très élevée et une immunité quasi permanente (on n'attrape pas deux fois la rougeole), ce qui explique un âge moyen à l'infection très bas. Alors que l'intérêt se porte sur les maladies émergentes qui touchent ou menacent de toucher notre continent dans ce petit monde très connecté, il est important de noter que le combat contre d'anciennes maladies évitables mais qui restent d'importants problèmes de santé publique dans le monde continue. D'après l'OMS, la coqueluche tue encore 300 000 enfants par an dans le monde et la rougeole près d'un demi-million. À titre de comparaison, la flambée ébola dans 3 pays africains en 2014 a fait 28 616 cas et tué 11 310 personnes, un total supérieur à la mortalité globale liée à ce virus depuis sa première apparition, en 1976. Le taux de mortalité élevé rend cette maladie impressionnante et potentiellement dangereuse, mais la transmission (par contact avec les

fluides du malade pour ébola) est bien plus faible que pour la rougeole ou la coqueluche, par exemple.

La rougeole est une maladie sévère des voies respiratoires causée par un virus, qui se caractérise par une éruption cutanée de « boutons » rouges spécifiques. La coqueluche est également une maladie respiratoire causée par une bactérie, *Bordetella pertussis* (*Bp*), qui se caractérise par des quintes de toux évoquant le chant du coq, d'où le nom de « coqueluche ». En Chine, on appelle cette maladie la « toux des 100 jours », car les quintes de toux peuvent persister plusieurs semaines. Les deux infections sont à l'origine des maladies qui touchaient le bétail, puis qui sont passées à l'homme avant de devenir spécifiques à notre espèce. Le succès des politiques de vaccination mises en place depuis plusieurs décennies est considérable si l'on observe la réduction impressionnante du nombre de cas et de décès associés observés dans les pays riches et, dans une moindre mesure, dans les pays du Sud. Elles restent par contre un échec si l'on considère l'incapacité à éliminer ces maladies qui persistent et même réémergent dans certains pays, et touchent

désormais toutes les classes d'âge.

Cette situation de santé publique préoccupante a motivé d'importantes recherches sur ces maladies. Les modèles mathématiques ont permis d'élucider la complexité des cycles épidémiques observés pour ces deux maladies depuis l'introduction de la vaccination (de 1 à 2 ans pour la rougeole, de 3 à 4 ans pour la coqueluche). En intégrant des facteurs sociologiques et climatiques ainsi que les interventions de santé publique dans ces modèles, nous sommes aujourd'hui en mesure de faire des prédictions dont la qualité ne cesse de s'accroître.

L'élimination de la rougeole, c'est-à-dire l'absence de nouveaux cas au niveau de la planète en maintenant un outil de prévention comme la vaccination, est théoriquement possible. En effet, le vaccin procure une immunité quasi permanente après deux doses (pas de rappels), le réservoir est uniquement humain, et nous avons les outils pour diagnostiquer la maladie. La difficulté, si l'on se réfère au seul succès de la vaccination chez l'homme avec l'éradication de la variole dans les années 1980, est que, pour éliminer la

rougeole, il faut atteindre et maintenir une couverture vaccinale proche des 95 % de la population, contre les 70 % nécessaires pour la variole. Que ce soit pour des raisons sociétales (croyances, courant anti-vaccination, etc.) ou logistiques (zones difficiles d'accès, chaîne du froid pour maintenir le vaccin efficace, etc.), cet objectif théorique reste difficile à atteindre en pratique.

Enfin, les taux de couverture vaccinale insuffisants n'expliquent pas entièrement la recrudescence des cas de coqueluche observés, par exemple, aux États-Unis et en Europe, dans toutes les classes d'âge. Se posent alors les questions de l'évolution génétique des bactéries *Bp* après des décennies de pression vaccinale (virulence, échappement vaccinal, etc.) et du suivi d'autres *Bordetella* proches, issues du règne animal et de plus en plus souvent identifiées dans des cas d'infections humaines présentant des symptômes de la coqueluche. Comprendre les raisons de cette évolution épidémiologique constitue les défis d'aujourd'hui et de demain auxquels l'écologie de la santé peut largement contribuer.





## Des maladies qui collent à la peau

**T**enir une barre de métro, ouvrir une porte, donner une poignée de main, embrasser quelqu'un... Des gestes d'apparence anodine mais qui, en réalité, sont à l'origine de la transmission de nombreux microbes, comme celui de la grippe. On parle d'ailleurs de transmission « par contact ». Il existe les contacts directs et immédiats entre une personne infectée et une personne non infectée et les contacts indirects avec l'environnement de la personne infectée (il en va de même pour les animaux). Comprendre comment les microbes sont transmis lors de ces rapprochements, d'où ils proviennent et quelles sont leurs origines est un prérequis à la compréhension des maladies par contact et à leur prévention en termes de santé publique.

Une simple poignée de main et certains pathogènes peuvent être transmis et infecter un nouvel hôte.

Colonie de goélands leucophées nichant sur un îlot en Camargue au printemps 2015. On distingue, au fond à gauche de l'illustration, un complexe industriel. Les recherches effectuées dans cet écosystème, où faune naturelle et forte pression humaine se côtoient, ont permis de mettre en place un observatoire en « écologie de la santé » sur l'émergence et le transfert de l'antibiorésistance.



Un mulot sylvestre en Camargue. Les bactéries portées par les rongeurs sont suivies pour comparer la présence de résistances au sein de la faune sauvage dans des habitats ayant plus ou moins subi l'impact de l'homme.

FOCUS

## LA CAMARGUE, UN LABORATOIRE À CIEL OUVERT

**Au carrefour de plusieurs voies de migration, la Camargue offre aux chercheurs un site idéal pour étudier la circulation de virus comme celui de la grippe aviaire.**

La Camargue est un site d'étude emblématique où une approche intégrée appliquée à l'écologie de la santé est développée depuis plus d'une dizaine d'années. Située au carrefour de plusieurs voies de migration d'oiseaux, de nombreuses routes de commerce et d'échange de voyageurs, cette région est aussi particulièrement vulnérable aux changements globaux : urbanisation, pollution et intensification de l'agriculture. Il s'agit donc d'une zone potentiellement propice à l'émergence de

maladies. Les études menées depuis 2005 dans le delta ont permis de mieux comprendre, entre autres, la circulation du virus West Nile et des virus de grippe aviaires (virus influenza A) en combinant l'expertise d'ornithologues, de virologues et d'hydrologues mais aussi en travaillant en collaboration avec les acteurs du territoire (chasseurs, agriculteurs et gestionnaires d'espaces naturels). Il a ainsi été mis en évidence que le virus West Nile circulait chez l'avifaune sauvage en Camargue en l'absence de cas humains et équins,

et également que les élevages de canards pour la chasse pouvaient jouer un rôle de catalyseur dans la propagation du virus influenza A.

Ces approches sont également appliquées à l'étude des bactéries antibiorésistantes. Elles se déclinent à travers l'investigation de plusieurs questions : quelles souches sont présentes ? Quels traits écologiques (espérance de vie, régime alimentaire, etc.) favorisent le portage des bactéries antibiorésistantes chez les espèces sauvages ? Quels échanges avec le compartiment humain ont lieu et selon quelles modalités ? Quelles mesures de gestion des écosystèmes ou quelle modification des activités

humaines pourraient limiter ces échanges et donc la dissémination des bactéries antibiorésistantes ?

Pour conduire ces études, le CNRS et la Tour du Valat (Institut de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes) ont mis en place un partenariat ayant pour vocation de pérenniser les recherches en écologie de la santé en Camargue. Le développement de tels sites de recherche intégrée et surtout leur maintien dans le temps seront des outils précieux pour continuer d'avancer vers des méthodes de prévention et de gestion des crises sanitaires innovantes, à même de préserver à la fois la santé des populations humaines et celle des écosystèmes.





8

## Les maladies du progrès

**L**e progrès scientifique permet de combattre les maladies infectieuses mais fait également émerger de nouvelles pathologies. Réfrigérateurs, élevages intensifs... nos évolutions culturelles et technologiques ont créé de nouvelles niches écologiques pour les pathogènes et les parasites. Les organismes à l'origine de ces maladies dites « du progrès » ont ainsi eu l'opportunité d'émerger et de se disperser au sein des nouvelles configurations démographiques humaines qui connaissent et connaîtront des densités sans précédent. Les pathogènes sont partout et ils ont la faculté de s'adapter à tous types d'environnement, même aux ordinateurs... Comprendre l'écologie et le cursus évolutif de ces pathogènes fait partie des enjeux de santé publique du futur.

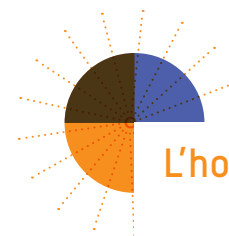


## PROMOUVOIR L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET LIMITER LA SÉDENTARITÉ DES JEUNES, C'EST POSSIBLE : LES LEÇONS D'ICAPS

### Comment motiver des collégiens à faire davantage d'activité physique ? Les réponses avec un programme original mené dans 4 établissements scolaires.

Mené sous forme d'étude scientifique, le programme Icaps (intervention ciblant l'activité physique et le comportement sédentaire des adolescents) a permis de démontrer la pertinence d'une approche de prévention ciblant les adolescents et leur milieu de vie par opposition à des programmes ciblant la seule motivation individuelle ou la connaissance des bienfaits de l'exercice. Ancré dans les établissements scolaires, mais dépassant ce seul cadre, le programme s'est appuyé sur les interactions dynamiques qui se créent entre les individus et leur environnement social, organisationnel, politique et physique afin de favoriser la pratique d'une activité physique tout au cours de la journée (sous forme de sport, à l'école et pendant les loisirs, mais aussi dans le quotidien notamment pour les déplacements), et de limiter le temps passé assis, en particulier devant la télévision. Le programme a reposé sur de nombreux acteurs impliqués à tous les niveaux du modèle socio-écologique. Il associait des actions visant à modifier la perception et la motivation des adolescents à l'égard de l'activité physique ainsi que de leurs compétences, mais aussi des actions incitant l'entourage (parents, éducateurs, et famille) à valoriser l'activité physique et à encourager les jeunes à sa pratique, ou encore des actions ciblant l'environnement

et sa perception par les jeunes afin qu'il soit plus propice à la réalisation d'une activité physique dans tous les domaines. Icaps a démontré qu'il était possible de promouvoir l'activité physique, de réduire la sédentarité, et de prévenir une prise de poids excessive, avec une diminution de 50 % du risque d'être en surpoids après 4 années de suivi pour les adolescents de poids normal. La confiance en eux des collégiens a augmenté, ce qui prédit un changement de comportements à plus long terme. De façon intéressante, deux ans et demi après l'arrêt de l'intervention, les changements de comportements, comme une diminution de la sédentarité et une augmentation du niveau d'activité physique à travers notamment le transport actif pour se rendre au lycée ou au travail, se sont maintenus, de même que l'impact positif sur la prise de poids. La persistance de ces effets bénéfiques durables était médiée par une attitude positive à l'égard de l'activité physique, le maintien d'un support social proactif et surtout par une modification de la perception de leur environnement par les jeunes, perçu comme propice à la pratique d'une activité physique dans le quotidien comme pendant les loisirs. Ces changements durables de comportements sont d'autant plus importants qu'il est bien établi que la pratique d'activité physique et ses bienfaits pendant l'enfance et l'adolescence sont prédictifs du comportement et de la santé à l'âge adulte.



## L'homme, une espèce inadaptée à son environnement

Nos sociétés ont construit une niche écologique dans laquelle les comportements sédentaires et la malbouffe sont devenus les nouvelles normes. Alors que les transitions épidémiologiques ont amélioré les conditions de vie, elles ont créé un décalage entre l'histoire évolutive de l'homme et l'environnement dans lequel il évolue. Ce nouvel environnement associé à ces nouveaux modes de vie, que nous avons nous-mêmes développés et construits, nous tue, et de nouvelles stratégies de prévention sont nécessaires.

### Une approche socio-écologique pour réintroduire l'activité physique au quotidien

Les individus interagissent dans des environnements complexes et imbriqués. Une approche reconnue pour étudier ces systèmes complexes est le modèle socio-écologique. L'application de ce concept aide à comprendre les causes multifactorielles de maladies non transmissibles comme l'obésité, et à mettre en place des stratégies de changements de comportement pour restaurer un style de vie sain. De nombreuses recherches, fondées sur les principes des modèles socio-écologiques, s'attachent ainsi à définir les déterminants du comportement de mouvement physique au sein de différents microenvironnements (écoles, lieux de travail, domicile, plans d'urbanisme, restaurant, etc.) ou macroenvironnements (industrie agroalimentaire, niveaux gouvernementaux, attitudes et croyances de la société, etc.) afin d'identifier des pistes pour favoriser la pratique d'activité physique dans la vie de tous les jours. Le but est de redonner aux individus le goût de l'activité physique, mais aussi de modifier notre environnement afin qu'il donne envie aux individus de bouger et qu'ils puissent le faire de façon aisée. Par exemple, des stations de travail actives, que ce soit des bureaux en position debout associés à un tapis roulant ou à une roue pour pédaler sous le bureau, ont été développées au cours des dernières années et sont de plus en plus utilisées dans les entreprises. Les bénéfices de ces nouvelles stations de travail actives en termes de santé restent à tester.